Transports Canada
Transport Canada

Développement
Development

TP 8217F

# Transposition du système de localisation, d'identification et de commande (LIC) aux voies principales

*Rapport sommaire*

Rédigé pour le
Centre de développement
des transports
Transports Canada

décembre 1988

CA1
DTC 847
83
L53SZ
c.2

Canada

TP 5217F

# TRANSPOSITION DU SYSTÈME DE LOCALISATION, D'IDENTIFICATION ET DE COMMANDE (LIC) AUX VOIES PRINCIPALES

## RAPPORT SOMMAIRE

Préparé par

R.C. Chillman et R.J. Pomeroy
Glenayre Electronics Ltd.
North Vancouver, C.-B. V7J 1A3

Octobre 1983

Les opinions exprimées sont celles du contractant et ne correspondent pas nécessairement aux opinions ou aux vues du Centre de développement des transports.

Also available in English under the title: "Location, Identification and Control System Application to Mainline Railroads", TP 5217E.

## ÉQUIPE DE RECHERCHE

L'équipe mise sur pied par Glenayre Electronics Ltd. était formée de MM:

R.J. Pomeroy
R. Chillman
L. McIntyre
M. Greenall
R. West
C. Elder
N. Langston
J.P. Thomas
et d'autres

# FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

| 1. N° du rapport Transports Canada | 2. N° de l'étude — CDT | 3. N° de catalogue du destinataire |
|---|---|---|
| TP5217F | 4510 | |

| 4. Titre et sous-titre | 5. Date du rapport |
|---|---|
| Transposition du système de localisation, d'identification et de commande (LIC) aux voies principales | Octobre 1983 |
| | 6. N° du rapport de l'organisme exécutant |

| 7. Auteur(s) | 8. N° de dossier Transports Canada |
|---|---|
| R.C. Chillman and R.J. Pomeroy | D1465-128-8 |

| 9. Nom et adresse de l'organisme exécutant | 10. N° de dossier — ASC |
|---|---|
| Glenayre Electronics Limited<br>1551 rue Columbia<br>North Vancouver<br>Colombie Britannique V7J 1A3 | 10SD.T8200-1-1544 |
| | 11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada |
| | 1SD81-00137 |

| 12. Nom et adresse de l'organisme parrain | 13. Genre de rapport et période visée |
|---|---|
| Centre de développement des transports<br>1000, rue Sherbrooke ouest<br>Suite 2421<br>Montréal, Québec H3A 2R3 | Sommaire<br>Décembre 81 à Octobre 83 |
| | 14. Code de l'organisme parrain |
| | 4510 |

| 15. Remarques additionnelles | 16. Agent de projet — CDT |
|---|---|
| Pour plus de détails, voir le rapport final TP5032E | Micha Avni |


17. Résumé

Ce rapport est un sommaire des résultats de l'étude sur la possibilité de transposer le système LIC (Localisation, Identification et Commande de trains) aux voies ferroviaires principales. Etablissant la nécessité d'élargir les possibilités du système actuel pour qu'il puisse convenir à l'application nouvelle envisagée, le rapport examine certaines fonctions supplémentaires que le LIC pourra prendre en charge. En vue d'offrir une capacité de traitement accrue et une plus grande souplesse d'emploi, le processeur de données (DCP) a dû être réétudié; il utilisera dorénavant la technologie standard des bus et microprocesseurs. Les essais en laboratoire et l'évaluation en service de ce processeur ont montré qu'il satisfait aux exigences de son application actuelle et qu'il se prête à une extension de son domaine d'utilisation.

Afin d'affiner les critères de transposition du LIC, une étude a été faite sur une ligne du CP Rail. Cette étude a permis de cerner les besoins des utilisateurs éventuels et elle a été suivie d'un schéma conceptuel de la transposition envisagée.

Le rapport conclut que le LIC est transposable aux voies principales, mais que des études plus poussées sont nécessaires. Il termine en recommandant d'arrêter, pour le moment, le perfectionnement du système et de ne le reprendre que si un client s'y intéresse vraiment.


| 18. Mots-clés | 19. Diffusion |
|---|---|
| Localisation, identification, commande de train, voies ferroviaires principales, commande automatique des trains. | Nombre limité de copies disponibles auprès de l'organisme parrain. |

| 20. Classification de sécurité (de ce rapport) | 21. Classification de sécurité (de cette page) | 22. Nombre de pages | 23. Prix |
|---|---|---|---|
| non-classifié | non-classifiée | 39 | Nil |

## REPORT DOCUMENTATION FORM

| 1. Transport Canada Report No. | 2. TDC Project No | 3. Recipient's Catalogue No |
|---|---|---|
| TP5217F | 4510 | |

| 4. Title and Subtitle | 5. Report Date |
|---|---|
| Location, Identification and Control System Application to Mainline Railroads | October 1983 |
| | 6. Performing Organization Report No |

| 7. Author(s) | 8. Transport Canada File No |
|---|---|
| R.C. Chillman and R.J. Pomeroy | D1465-128-8 |

| 9. Performing Organization Name and Address | 10. DSS File No |
|---|---|
| Glenayre Electronics Limited<br>1551 Columbia Street<br>North Vancouver<br>B.C. V7J 1A3 | 10SD.T8200-1-1544 |
| | 11. DSS or Transport Canada Contract No<br>1SD81-00137 |

| 12. Sponsoring Agency Name and Address | 13. Type of Report and Period Covered |
|---|---|
| Transportation Development Centre<br>1000 Sherbrooke Street West<br>Suite 2421<br>Montreal, Quebec H3A 2R3 | Summary<br>December 81 to October 83 |
| | 14. Sponsoring Agency Code<br>4510 |

| 15. Supplementary Notes | 16. TDC Project Officer |
|---|---|
| See Transport Canada Report No. TP5032E for a detailed report on this project. | Micha Avni |

17. Abstract

This document summarizes the results of a study into the potential for application of the Location, Identification and Control System (LIC) to mainline railroads. It is shown that the capabilities of the present system must be expanded to mainline use, and several possible functional extensions to LIC are examined. To provide the power and flexibility needed to incorporate such extensions, the prototype Data Collection Processor (DCP) was redesigned around a standard microprocessor bus system. Laboratory tests and operational evaluation of the new DCP indicate that it meets the requirements of the present application and is capable of expansion.

To further establish the criteria for mainline LIC application, a site-specific study was carried out on a CP Rail line. A set of user requirements was then drawn up, and a detailed conceptual design for a mainline LIC System was prepared.

It is concluded that the LIC System is capable of expansion to meet the requirements of mainline railroads, although a large amount of additional engineering would be necessary. It is recommended that no further development work be done at this time and that extensions to the system be considered only in the event of specific customer interest.

| 18. Key Words | 19. Distribution Statement |
|---|---|
| Location, Identification, Control, Railroad Mainline, Automatic Train Control | Limited number of copies available from sponsoring agency. |

| 20. Security Classification (of this report) | 21. Security Classification (of this page) | 22. No of Pages | 23. Price |
|---|---|---|---|
| Unclassified | Unclassified | 39 | Nil |

TDC/CDT 79-005

Remerciements

Glenayre Electronics Ltd. désire remercier le Centre de développement des transports, et notamment M. N.E. Rudback, pour son assistance et son appui tout au long de l'étude.

TABLE DES MATIÈRES


| | | |
|---|---|---|
| 1. | INTRODUCTION | 1 |
| | 1.1 Aperçu | 1 |
| | 1.2 Objet et étendue de la recherche | 1 |
| 2. | DESCRIPTION DU SYSTÈME LIC | 2 |
| | 2.1 Objet du LIC | 2 |
| | 2.2 Description | 2 |
| 3. | TRANSPOSITION DU LIC AUX VOIES PRINCIPALES | 3 |
| | 3.1 Secteurs visés | 3 |
| | 3.2 Extension des possibilités du LIC | 3 |
| | 3.3 Caractéristiques exigées | 4 |
| 4. | EXTENSION DES POSSIBILITÉS DU LIC | 7 |
| | 4.1 Freinage télécommandé | 7 |
| | 4.2 Transmission de la vitesse de consigne à l'automatisme ELU | 7 |
| | 4.3 Freinage automatique en cas de dépassement de la vitesse de consigne | 7 |
| | 4.4 Détermination de la distance de freinage | 8 |
| | 4.5 Distance de freinage et sécurité | 8 |
| | 4.6 Franchissement intempestif de canton | 9 |
| | 4.7 Télécommande des aiguillages | 9 |
| 5. | ÉTUDE DU PROCESSEUR DE DONNÉES | 10 |
| | 5.1 Matériel informatique | 10 |
| | 5.2 Logiciel | 11 |
| | 5.3 Modifications à prévoir | 11 |
| 6. | ÉVALUATION DU PROCESSEUR | 13 |
| | 6.1 Essais systémiques | 13 |
| | 6.2 Essais de service | 13 |
| | 6.3 Évaluation | 14 |
| 7. | ÉTUDE DE LA VOIE À ÉQUIPER | 16 |
| | 7.1 Profil de la voie | 16 |
| | 7.2 Méthode d'exploitation | 16 |
| | 7.3 Fonctions du régulateur | 17 |
| 8. | DÉFINITION DES BESOINS | 19 |
| 9. | SCHÉMA CONCEPTUEL D'UN SYSTÈME LIC ADAPTÉ AUX VOIES PRINCIPALES | 22 |
| | 9.1 Commande de la marche des trains par LIC | 22 |
| | 9.2 Protection automatique des trains | 23 |

9.3 Régulation automatique du trafic 23
9.3.1 Automatisation de la marche des trains 23
9.3.2 Traitement automatique de l'information 23

10. CONCLUSIONS 24
10.1 Conclusions générales 24
10.2 Capacité 24
10.3 Mises en oeuvre partielles 25

11. RECOMMANDATIONS 27

RÉFÉRENCES 28

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Aperçu

Depuis 1975, Glenayre Electronics Ltd. et la British Columbia Railway poursuivent l'étude et la mise au point du LIC (système de localisation, d'identification et de commande des trains) avec la participation et l'appui du Centre de développement des transports (CDT) de Transports Canada.

## 1.2 Objet et étendue de la recherche

Le présent rapport récapitule l'étude sur la possibilité de transposer le LIC aux voies principales de chemin de fer (1).

Il se présente en trois parties. La première étudie les besoins définis pour cette transposition et considère les extensions possibles du LIC existant.

La deuxième traite du processeur de données et de son aptitude à répondre aux besoins définis. Elle aborde aussi l'évaluation en service du processeur de données faite par la B.C. Rail.

La troisième examine la possibilité de transposer le LIC aux lignes du CP Rail reliant Fording à Golden, dans cette province.

Enfin, le rapport propose un schéma conceptuel relatif à la transposition envisagée.

## 2. DESCRIPTION DU SYSTÈME LIC

### 2.1 Objet du LIC

Le système LIC a pour but premier d'accroître la capacité des réseaux ferroviaires où la circulation est soit commandée par des ordres de marche, soit protégée par cantonnement manuel. Ce système évite le coût élevé des circuits de voie par l'utilisation de balises électroniques passives situées en bordure de voie et par une localisation du convoi grâce à un odomètre de bord précis.

### 2.2 Description

Le système LIC est fondé sur une régulation par cantons, délimités par des postes fixes de contrôle, comportant chacun deux transpondeurs passifs DIGITRAC à codage exclusif, ou trois dans le cas d'un aiguillage. L'ordre dans lequel se fait le franchissement de deux transpondeurs indique le sens de marche du convoi, tandis que la direction prise après un aiguillage est donnée par la paire de transpondeurs franchis. La localisation du train se fait grâce à un équipement électronique embarqué qui interroge les transpondeurs et grâce à un odomètre séparé qui permet de situer le train à l'intérieur d'un canton donné, à 0,1 mille près.

Un système informatique interroge tous les trains par radio, et à partir du centre de régulation, afin d'en déterminer l'emplacement et la vitesse, et d'obtenir d'autres renseignements utiles. Ce système informatique comprend un ordinateur central, un processeur de données à microprocesseur (organe de communication de l'ordinateur central) et les divers périphériques tels que le tableau d'affichage graphique en couleur. L'agent régulateur met en mémoire les instructions de marche grâce à un terminal à écran standard. Après une vérification rigoureuse pour déceler les erreurs ou les incompatibilités possibles, ces instructions sont transmises au train visé. À chacune des étapes de cette procédure, il est fait appel à un protocole de communication hautement sécuritaire.

Le conducteur du train reçoit en langage non codé l'autorisation de franchir un poste fixe, sur un tableau d'affichage en cabine. Ce tableau affiche l'autorisation en cours et annonce les deux suivantes; dans certaines circonstances, notamment lorsque le train pénètre dans un canton sans autorisation, il déclenche des signaux d'alarme visuels et sonores.

## 3. TRANSPOSITION DU LIC AUX VOIES PRINCIPALES

### 3.1 Secteurs visés

Avec le LIC, on vise à accroître à un coût acceptable la capacité des réseaux où la circulation est soit commandée par des ordres de marche, soit protégée par cantonnement manuel. La croissance prévue du trafic charbonnier rend intéressante l'implantation du LIC sur deux lignes ferroviaires en Colombie-Britannique. La première, protégée par cantonnement manuel, appartient au Canadien National et relie Prince George à Ridley Island (Prince Rupert). La deuxième, située dans le sud-est de la province, appartient au Canadien Pacifique; elle est constituée des subdivisions Windermere, Cranbrook et Fording, commandées par ordres de marche. La présente étude vise surtout la ligne du CP.

### 3.2 Extension des possibilités du LIC

Le système LIC exploité par la British Columbia Railway convient très bien à une voie secondaire. La présente étude a cerné les trois secteurs où une extension des possibilités de ce système est nécessaire en vue de sa transposition aux voies principales. Ce sont:

1) La commande de la marche des trains - Le LIC utilise le cantonnement absolu permissif (CAP) qui interdit le franchissement d'un canton occupé par un train roulant en sens contraire, mais qui autorise le franchissement de ce canton par un train roulant dans le même sens, mais en marche à vue. Il faudrait, en outre, que le LIC puisse assurer (sous le contrôle du régulateur) la télécommande des aiguillages à manoeuvre électrique, dans le but de réduire les temps de croisement et de dépassement.

2) L'automatisation de la marche des trains - la transposition aux voies principales conservera la méthode courante du LIC existant pour traiter l'information à destination ou en provenance du centre de régulation, à savoir: automatisation des circulations, des affichages et des comptes rendus. Mais, pour permettre la surveillance d'un trafic accru, le LIC doit pouvoir assurer l'automatisation du processus des autorisations, là où il n'existe aucun risque d'incompatibilité.

3) La protection automatique des trains - les éléments embarqués du système LIC peuvent commander l'application automatique du freinage dans l'un des deux cas suivants: vitesse de marche dépassant la limite imposée et non-

application du freinage à une distance prédéterminée, par rapport à un point fixe.

### 3.3 Caractéristiques exigées

Les caractéristiques exigées en vue de la transposition du LIC aux voies principales ont été définies comme suit:

1) Le système doit s'articuler autour de composants modulaires dans le but de lui permettre de s'adapter à un large éventail de conditions géographiques, de service et de signalisation. À chaque subdivision envisagée doit correspondre un processeur de données, un seul ordinateur central pouvant être alimenté par un certain nombre de processeurs de manière à couvrir le tronçon placé sous la surveillance d'un régulateur.

2) La transmission poste fixe-train doit se faire par liaison radio VHF ou UHF et celle poste fixe-centre de régulation par un réseau principal. Ce dernier doit fournir des transmissions vocales de haute qualité sur deux canaux ou plus, par ondes décimétriques, câble ou tout autre moyen.

3) Le repérage des trains doit se faire par deux méthodes séparées:

- Occupation d'un canton déterminée par interrogation des transpondeurs DIGITRAC placés entre les rails. L'automatisme embarqué doit assurer un degré élevé de protection contre les erreurs.

- Repérage fin à l'intérieur d'un canton réalisé au moyen d'un odomètre ayant une précision supérieure à 0,05 mille pour que la précision de la valeur affichée sur le tableau à bord de la locomotive atteigne 0,1 mille. Par l'étalonnage automatique de cet appareil, il doit être possible de tenir compte de l'effet du patinage et d'autres phénomènes entraînant des erreurs incrémentielles.

4) Un tableau d'affichage en cabine doit fournir au conducteur les renseignements suivants:

- autorisation de franchissement de canton,
- annonce des deux cantons suivants,
- distance réelle (du dernier point fixe),
- vitesse de consigne,
- vitesse réelle.

La sécurité des cantons dont le franchissement est autorisé ou annoncé au tableau d'affichage doit être assurée par algorithmes redondants utilisant la séquence: commande possible-confirmée-exécutée.

5) Tant la locomotive que le wagon de queue doivent être équipés d'un automatisme ELU et d'un interrogateur qui transmettent au fur et à mesure des franchissements effectués, indiquant ainsi le ou les cantons occupés par le train. Au cas où le convoi ne se termine pas par un wagon de queue, il faut prévoir le moyen d'annoncer le passage du dernier wagon.

6) Une télécommande des aiguillages à manoeuvre électrique doit être prévue, par l'adjonction d'un automatisme apparenté à celui qui commande la locomotive.

7) Des circuits de protection automatique des trains doivent être prévus pour effectuer automatiquement le freinage au cas où le conducteur ne donne pas suite en temps voulu à un signal d'alarme sonore.

8) L'ordinateur central doit être à sécurité intrinsèque, c'est-à-dire que la défaillance d'un composant essentiel ne doit réduire d'aucune façon le niveau de sécurité d'avant la panne.

9) Le système doit mettre à la disposition du régulateur toutes les informations nécessaires et, si possible, assurer une régulation optimale de la circulation.

10) Le système doit permettre l'utilisation d'ordres de marche écrits en cantonnement manuel pour assurer la protection des trains non équipés du système LIC lorsqu'ils franchissent un tronçon ainsi équipé.

11) Le système doit offrir une fiabilité, une disponibilité et une maintenabilité élevées, quitte à doubler les installations informatiques du centre de régulation.

12) Le système doit pouvoir être installé progressivement, selon l'augmentation prévue du trafic et conformément au programme des investissements de la société ferroviaire.

13) Le système doit permettre des vitesses de marche allant jusqu'à 200 km/h, vitesses des trains voyageurs modernes, le LRC par exemple.

14) Le règlement d'exploitation des lignes équipées de LIC doit prévoir la protection de la circulation advenant une défaillance du système.

## 4. EXTENSION DES POSSIBILITÉS DU LIC

### 4.1 Freinage télécommandé

L'ordinateur central pourrait actionner à distance le circuit de freinage d'un train dans l'un des deux cas suivants:

1) Le régulateur se rend compte d'une situation dangereuse, une collision imminente, par exemple. Il peut alors émettre l'ordre d'actionner le freinage à distance.

2) L'ordinateur central détermine qu'un train a, soit franchi un canton interdit, soit dépassé la vitesse de consigne. Dans ce cas, il lance l'ordre de freinage automatique.

Il ne faut se résoudre à effectuer un freinage de secours qu'en cas d'extrême urgence, à cause des risques d'endommagement des roues, de la voie et des marchandises. Le freinage qu'on préconise est du type asservi, semblable à celui que prévoient les systèmes de cantonnement automatiques actuels. Il est recommandé de poursuivre la recherche dans ce domaine.

### 4.2 Transmission de la vitesse de consigne à l'automatisme ELU

La vitesse de consigne appliquée à un train donné dépend de l'endroit où il se trouve, du sens de sa marche et du type de train. Le mieux serait de stocker l'information nécessaire dans la mémoire de l'ordinateur central et de la transmettre au train au cours d'un échange entre le processeur de données et l'automatisme ELU. Pour donner au conducteur le temps d'intervenir efficacement, surtout en freinage, la nouvelle vitesse de consigne devrait être affichée suffisamment à l'avance. Ou bien, il faudrait faire afficher sur le tableau deux vitesses de consigne: l'actuelle et la nouvelle, ainsi que la distance au bout de laquelle cette dernière entre en vigueur.

### 4.3 Freinage automatique en cas de dépassement de la vitesse de consigne

À supposer que le train puisse être équipé d'un automatisme capable d'effectuer un serrage des freins, cette fonction pourrait être assumée par un programme qui pilotera soit le processeur de données (DCP), soit l'automatisme ELU.

Dans un cas commme dans l'autre, le programme n'interviendrait, après avoir déclenché l'alarme, que si aucune réduction de pression ne se faisait sentir dans la conduite générale, dans un délai donné. La préférence devrait être donnée au programme pilotant l'automatisme ELU car celui-ci peut intervenir plus rapidement, n'ayant pas à communiquer avec le DCP.

### 4.4 Détermination de la distance de freinage

La distance de freinage dépend de plusieurs facteurs: la masse du train, sa longueur, la géométrie de la voie, ainsi que les caractéristiques du système de freinage du train. Bien que des distances de freinage approchées aient pu être calculées à l'égard de trains roulant dans des conditions contrôlées, le nombre de paramètres est généralement si élevé qu'il est difficile de les maîtriser tous.

Il serait peut-être possible d'élaborer un algorithme de freinage simplifié et de le charger dans le programme pilotant l'automatisme ELU. D'autre part, on mettrait dans la mémoire morte de celui-ci des tables de vitesses en fonction des distances de freinage les plus courtes. Avant le départ du train, des informations telles que sa masse seraient chargées dans la mémoire de l'automatisme. L'inconvénient de cette méthode est que la plupart des cas ne nécessitent pas des freinages aussi brutaux et que l'automatisme aurait tendance à intervenir beaucoup trop tôt.

### 4.5 Distance de freinage et sécurité

Les distances de freinage calculées selon la technique ci-dessus pourraient servir à l'établissement d'un système automatique d'alarme qui surveillerait les manoeuvres menant à l'arrêt complet au droit d'un point fixe donné. Cette fonction pourrait être assumée par l'automatisme ELU et exécutée par lui, comme suit:

1) Lorsque la dernière autorisation en cours disparaît du tableau d'affichage, elle est remplacée par l'ordre "DO NOT PASS CPxxx" qui constitue l'arrêt au but fixé.

2) L'automatisme ELU calculera la distance séparant le train de l'arrêt au but.

3) Il annoncera en temps voulu au conducteur le début du processus de freinage tout en continuant à surveiller la vitesse du train, la pression dans la conduite générale, la distance qui reste à franchir, intervenant au besoin pour effectuer un freinage asservi.

### 4.6 Franchissement intempestif de canton

En plus de donner l'ordre "DO NOT PASS CPxxx", le système devrait alerter le conducteur si le train a empiété intempestivement sur le canton suivant, en affichant "ILLEGAL ENTRY" et transmettre un message à l'ordinateur central qui alerterait à son tour l'agent régulateur. Il serait possible de prévoir dans ce cas un freinage automatique de secours.

### 4.7 Télécommande des aiguillages

La télécommande des aiguillages à manoeuvre électrique est considérée comme étant une nécessité dans tout schéma de régulation du trafic sur les grandes lignes. GLENAYRE a donc étudié une télécommande par radio appelée "Radio Switch Controller Unit (RSCU)" dont le descriptif est annexé au Rapport final (1). Le concept de cette télécommande s'apparente à celui de l'automatisme ELU et utilise, pour communiquer avec ce dernier, un protocole analogue.

L'intégration d'un automatisme commandant les aiguillages à manoeuvre électrique dans le système LIC risque de soulever certaines difficultés. D'abord, il se peut que le processeur de données ne soit pas en mesure de prendre en charge le débit supplémentaire de communications et de traitement, à moins d'en élargir la capacité. Ensuite, il faudrait installer des circuits de voie, des appareillages de manoeuvre des aiguillages et autres. Le coût de premier établissement du LIC s'en trouverait ainsi plus élevé. La recommandation est donc faite de ne prévoir la télécommande des aiguillages qu'à la demande expresse du client.

## 5. ÉTUDE DU PROCESSEUR DE DONNÉES

Le processeur de données est l'organe à travers lequel l'ordinateur central communique avec les circuits qu'il pilote. Il reçoit les informations venues des trains pour les transmettre à l'ordinateur central, interrogeant tour à tour les automatismes ELU, recevant les informations fournies par les transpondeurs et reconnaissant la situation de chaque train. De plus, il reçoit les instructions de l'ordinateur central et les dirige vers les trains après les avoir vérifiées afin de déceler les erreurs ou les incompatibilités possibles; il veille également à la protection des données ainsi transmises.

### 5.1 Matériel informatique

Lors de la phase d'étude du prototype du LIC, le processeur utilisé a montré un certain nombre de lacunes qui limitaient forcément ses possibilités d'extension. Pour perfectionner le modèle utilisé, quatre solutions ont été envisagées:

- modifier le processeur existant,
- utiliser un mini-ordinateur couplé à une interface compatible,
- utiliser un bus et un matériel existant sur le marché,
- procéder à l'étude d'un modèle expérimental.

Des considérations de coût, de souplesse d'emploi et de délais ont mené au choix de la troisième solution. Il a donc été fait appel au système Multibus d'Intel, pour lequel les cartes nécessaires peuvent normalement être achetées sur le marché. Par contre, le microprocesseur Z-80 a été conservé pour le nouveau processeur qui se trouve ainsi doté d'une mémoire de 1 Mega-octet et d'un large éventail d'interfaces Entrée-Sortie.

Outre l'unité centrale de traitement, le matériel comporte, sous forme de cartes achetées, une mémoire vive, une mémoire morte et des interfaces de reconnaissance série. Pour sa part, GLENAYRE a conçu et réalisé une interface spéciale comprenant des minuteries de surveillance et de protection, des circuits de commande des transmissions et un modem de modulation par déplacement de phase (DPSK).

## 5.2 Logiciel

L'étude du logiciel a été marquée par le grand soin donné à la protection des informations contenues dans le programme. Pour cela, les deux critères de sécurité intrinsèque suivants ont été retenus:

- la défaillance d'un organe quelconque ne doit pas amener l'automatisme à agir comme si un canton est libre alors qu'il est occupé ou qu'il pourrait être occupé en vertu d'instructions déjà données,

- une défaillance quelconque ne doit pas donner au conducteur l'impression qu'il est autorisé à franchir un poste de contrôle, ou à occuper un canton, alors qu'il n'en est rien.

Le logiciel fait largement appel, pour la sécurité du traitement, à des algorithmes redondants mais distincts. Ainsi, pour être valable, le résultat du premier doit être identique à celui de l'autre. Pour les communications entre deux organes (Ordinateur-Processeur ou Processeur-Automatisme), un processus de double dialogue est imposé, respectant la séquence: Commande possible-confirmée-exécutée-répondez. Le langage Pascal/Z est largement utilisé alors que, pour l'exploitation, une variante du système AMX de surveillance en temps réel de plusieurs tâches simultanées est adoptée.

## 5.3 Modifications à prévoir

Le processeur original avait été réétudié une première fois en fonction des sujétions propres à la subdivision Squamish de BC Railway. Pour le transposer aux voies principales, ce processeur devrait être modifié et agrandi, de même que l'automatisme de commande ELU. Voici les modifications à faire pour le rendre apte aux fonctions décrites à la partie 4:

1) Freinage télécommandé - adjonction de relais dans l'automatisme de commande; extension de la mémoire du processeur pour prendre en charge le programme de commande correspondant.

2) Transmission de la vitesse de consigne à l'automatisme de commande - extension de la mémoire du processeur pour contenir les tables de vitesses; accroissement de la capacité de dialogue processeur-automatisme de commande.

3) Freinage automatique en cas de dépassement de la vitesse de consigne - aucune modification dans le processeur ou l'automatisme n'est nécessaire à condition que (1) et (2) aient été réalisés.

4) Détermination de la distance de freinage - extension de la mémoire du processeur ou de l'automatisme de commande, selon le cas.

5) Distance de freinage de sécurité - cette détermination se fait par le programme à condition que (1) ait été réalisé; extension éventuelle de la mémoire du processeur ou de l'automatisme de commande.

6) Télécommande des aiguillages - modifications profondes dans le matériel processeur, y compris l'éventualité de multiplier les unités centrales de traitement, vu la quantité de données à traiter; extension de la capacité Entrée/Sortie; mise au point de la télécommande RSCU.

## 6. ÉVALUATION DU PROCESSEUR

### 6.1 Essais systémiques

GLENAYRE avait réalisé deux processeurs modifiés pour convenir à la subdivision de Squamish de BC Rail. Au cours des essais préliminaires en laboratoire, tous les organes du processeur ont été vérifiés séparément et les divers modules de programme mis au point. Ces essais se sont poursuivis durant la phase d'intégration systémique. Une fois assemblé, le système a été soumis à une batterie d'essais, en couplage avec divers périphériques et en liaison simulée avec un maximum de quatre automatismes. Des essais subséquents ont montré l'aptitude du processeur à assumer les fonctions de commande essentielles, de concert avec les automatismes.

Il a ainsi été démontré que le processeur était fondamentalement valable. Mais le système Multibus a suscité des ennuis au niveau de l'interrogation et des temps de réponse aux interruptions. Un remaniement de l'ordre de priorité des tâches et de certains modules de programme a permis d'accroître la vitesse d'opération au point de pouvoir soutenir le niveau de service voulu. Aucun autre ennui n'a été constaté par la suite.

### 6.2 Essais de service

Ces essais du processeur modifié ont eu lieu vers la fin de 1982 dans le cadre du programme d'essais de validation du système LIC entrepris par BC Rail. Ces essais n'ont pas été concentrés sur le processeur lui-même, mais plutôt sur l'ensemble du système afin d'en vérifier les aptitudes de repérage des trains et de surveillance des opérations ferroviaires (2). Le processeur assurait la détection des transpondeurs, l'étalonnage des odomètres et les communications avec les trains, en plus d'alimenter en permanence l'ordinateur central en informations concernant la localisation des trains.

Le programme d'essais de validation du système a porté sur les quatre secteurs suivants:

1) Détection des transpondeurs - les locomotives équipées du système ont pu annoncer avec exactitude 99,86 p.cent des 50 000 transpondeurs franchis au total; ces informations ont été transmises avec succès par le processeur à l'ordinateur central.

2) Étalonnage des odomètres - le processeur a exécuté correctement la procédure d'étalonnage simple ou complet des odomètres. L'étalonnage simple consiste à ramener l'odomètre à la distance connue d'un transpondeur, tandis que, dans l'étalonnage complet, l'automatisme de commande doit calculer et mettre en mémoire un facteur de correction des distances. Des ennuis ont été constatés au niveau des générateurs d'impulsions montés sur les essieux, dont le comportement irrégulier aux basses vitesses a entraîné de nombreuses erreurs de lecture. Ce problème a pu être surmonté par une modification des interfaces reliées aux générateurs d'impulsions.

3) Communications avec les trains - les calculs montrent que, pour une surveillance adéquate de 20 trains circulant dans la subdivision, 75 p.cent de tous les messages émis par le processeur doivent être reçus et confirmés par les automatismes de commande ELU sans avoir à être répétés. Or, d'après les statistiques concernant la subdivision dans son ensemble, la moyenne des messages reçus sans erreur s'établit à 72 p.cent seulement. La raison en est que, dans cette subdivision, le terrain est montagneux, donc peu propice aux transmissions radio UHF.

Le processeur renferme en mémoire un modèle qui lui permet d'être commuté automatiquement sur le site hertzien qui assure une liaison optimale avec le train visé. Or, le résultat des essais sur les communications montre le besoin de perfectionner tant le système hertzien utilisé pour les communications que le modèle lui-même.

4) Repérage des trains - il s'agit de la méthode par laquelle le LIC transmet au régulateur une image en temps réel de la position de chacun des trains. Le processeur est capable de montrer sur un graphique la position des trains, mais l'imprimé obtenu est à faible résolution. L'ordinateur central peut afficher un graphique en trois couleurs représentant à l'échelle la portion de voie surveillée par le LIC. Sur le tableau d'affichage apparaissent les voies d'évitement, les stations et postes fixes de contrôle, ainsi que des informations sur l'emplacement, la direction et l'identité du train considéré.

### 6.3 Évaluation

Les essais en service ont montré que le système LIC a pu répondre à toutes les exigences formulées, à l'exception de celles touchant l'étalonnage des odomètres. La qualité des communications a été jugée suffisante pour les besoins du repérage, bien que nécessitant des perfectionnements en ce qui concerne la transmission des instructions de marche.

Le processeur modifié a bien fonctionné et s'est montré souple d'emploi et facile d'entretien. Sa capacité actuelle de mémoire d'environ 256 Kilo-octets est suffisante pour les besoins de surveillance et de stockage définis par BC Rail. Le microprocesseur Z-80 suffit, lui aussi, à la tâche. Le processeur modifié devrait être capable d'accomplir d'autres tâches et, si nécessaire, son système d'interfaçage Multibus pourrait prendre en charge plusieurs unités centrales de traitement. Précisons cependant que la mise en oeuvre de tâches supplémentaires nécessitera un profond remaniement tant du matériel que du logiciel qu'il renferme.

## 7. ÉTUDE DE LA VOIE À ÉQUIPER

Avec l'appui de CP Rail, GLENAYRE a entrepris d'étudier les particularités des lignes ferroviaires appartenant à cette compagnie, dans la partie est de la Colombie-Britannique, et devant servir au transport charbonnier. Il s'agissait de définir les critères de transposition du LIC aux voies principales. Cette étude a porté sur les méthodes d'exploitation, en plus de comporter des interviews avec divers agents, y compris ceux de la régulation, et aussi des observations directes à partir du poste de conduite de la locomotive de tête d'un train-bloc charbonnier.

### 7.1 Profil de la voie

Le tronçon étudié comprenait les subdivisions de Fording River, Cranbrook et Windermere qui s'étendent de Fording jusqu'à Golden, en Colombie-Britannique. Le trafic charbonnier prévu pour 1984 dépasserait les 20 millions de tonnes brutes, trafic devant s'accentuer au cours des prochaines années. En effet, pour 1985, on prévoit que les subdivisions de Cranbrook et de Windermere auront à écouler jusqu'à 35 et 23 mouvements par jour, respectivement.

Un train-bloc charbonnier est formé d'un wagon de queue, de 108 wagons-tombereaux d'une capacité de 100 tonnes de charbon et de quatre à six locomotives diesel 3000 Hp, dont deux sont placées au milieu du convoi et sont télé-commandées. La rampe maximum à gravir en direction ouest (trains chargés) est de 1,4 p.cent entre Sparwood et Elko, tandis que la pente la plus prononcée est de 1,8 p.cent, entre Fording et Sparwood.

### 7.2 Méthode d'exploitation

Les lignes étudiées sont commandées à partir du poste de régulation de Nelson (C.-B.). Les subdivisions de Cranbrook et de Windermere sont commandées par des ordres de marche, tandis que celle de Fording River est en cantonnement manuel. Aucun de ces deux systèmes de commande n'est considéré comme apte à prendre en charge un trafic devant dépasser sensiblement les niveaux actuels.

## 7.3 Fonctions du régulateur

Les fonctions du régulateur se rapportent aux secteurs d'activité suivants:

1) Préparer les documents de marche - livre d'ordres de marche, feuille des circulations, livre des transferts.

2) Faire la planification préliminaire - se renseigner sur l'état du matériel et du trafic, prendre connaissance des bulletins et de tout autre document pertinent.

3) Surveiller/coordonner les mouvements des trains - recevoir les comptes rendus, etc. (tâches d'importance secondaire).

4) Lancer/annuler les autorisations de marche - émettre les ordres de marche et remplir des fonctions de surveillance active (par opposition aux autres fonctions passives, administratives ou réactives).

5) Réagir aux imprévus - au besoin, modifier le planning, réorganiser les horaires.

6) Régler les situations d'urgence - en réagissant rapidement dans les cas où des vies ou des biens sont en danger.

L'analyse de la charge de travail d'un régulateur permet de diviser cette dernière en deux grands groupes:

1) régulation du trafic,
2) traitement de l'information (tâches administratives).

D'après les statistiques de l'American Train Dispatcher's Association, un régulateur consacre près de 80 p.cent de son temps à des tâches administratives et seulement 20 p.cent à la régulation proprement dite. De plus, la plus grande partie de ces deux tâches est à caractère routinier; seulement 10 p.cent de la première et 15 p.cent de la seconde, nécessitent une prise de décision portant à conséquence.

Le travail du régulateur se prête particulièrement bien à l'automatisation, du fait que près de 90 p.cent de sa charge de travail consiste en travaux routiniers et répétitifs. Le système de traitement automatique de l'information autoriserait: l'enregistrement local ou à distance de la composition (wagons, locomotives et personnel) des convois; la production de comptes rendus;

l'affichage des informations concernant la marche, en plus d'assurer l'interfaçage avec un système intégré de gestion. L'automatisation de ces tâches allégerait la charge du travail du régulateur et lui permettrait de consacrer plus de temps à des tâches d'organisation et de régulation, rendant ainsi plus efficace la gestion des ressources mises en oeuvre. Quant à l'autre volet de l'automatisation, la régulation du trafic, elle prendrait en charge la surveillance du réseau, le repérage des trains, la formation des itinéraires et, possiblement aussi, l'arbitrage des conflits qui pourraient en découler.

## 8. DÉFINITION DES BESOINS

L'étude sur place de la voie appartenant à CP Rail, et décrite au chapitre 7, s'ajoutant à l'expérience acquise en matière d'exploitation, a débouché sur une définition des besoins relatifs à la transposition du LIC aux voies principales. Ces besoins sont les suivants:

1) La commande des trains en territoire placé sous la surveillance du LIC doit être entièrement prise en charge par un bureau central de régulation.

2) Le système mis en oeuvre doit avoir la capacité de soutenir efficacement une circulation pouvant atteindre 35 mouvements par jour, jusqu'à concurrence de 20 en simultané.

3) Le système doit montrer graphiquement et avec précision la situation de tous les trains, de tous les signaux et des équipements à manoeuvre télécommandée. L'affichage graphique doit être en couleur afin de permettre au régulateur d'anticiper les instructions à donner sur la marche des trains.

4) Un système de visualisation et d'information en cabine, montrant l'évolution des conditions en avant du train, doit être prévu.

5) Une télécommande des aiguillages à manoeuvre électrique doit être prévue dans le but de réduire les temps de croisement et de dépassement aux bifurcations, tout en protégeant contre les incompatibilités possibles et les erreurs d'aiguillage. On fera appel aux techniques habituelles pour protéger contre le déplacement intempestif d'un aiguillage sur lequel circule un train.

6) Un cantonnement automatique absolu permissif pour la protection des tronçons à voie unique entre voies d'évitement doit être prévu.

7) Un système de protection automatique des trains, du type freinage automatique après avertissement et utilisant les tables de freinage fournies par la compagnie de chemin de fer, doit être prévu.

8) L'affichage en cabine doit montrer les vitesses de consigne, tandis que le système doit pouvoir vérifier si elles sont respectées. Advenant une commande de freinage en protection automatique des trains, la vitesse de consigne

doit être réduite progressivement, conformément aux tables de freinage susmentionnées.

9) Une régulation assistée par ordinateur doit être prévue afin d'automatiser les autorisations de marche, l'ordonnancement des croisements et des dépassements et la prévention des itinéraires incompatibles.

10) Un système d'information intégrée doit être mis à la disposition du régulateur pour le libérer des tâches administratives à caractère répétitif, et pour l'aider à respecter les directives administratives et juridiques émises.

11) Le régulateur doit pouvoir être en mesure d'ordonner le freinage de secours à distance, dans le cas d'un train ayant dépassé la vitesse de consigne.

12) La gestion de tous les trains, qu'ils soient équipés ou non du système LIC, doit être prévue, du moins pour le début.

Les besoins ainsi définis décrivent un système de régulation de type avancé permettant d'accroître notablement la capacité des lignes actuellement commandées par ordres de marche ou protégées par cantonnement manuel. Le système envisagé doit, en outre, répondre aux exigences suivantes:

- convenir à toutes les compagnies de chemin de fer d'Amérique du Nord,

- être à sécurité intrinsèque, c'est-à-dire que la défaillance partielle ou totale du système ne doit réduire d'aucune façon le niveau de sécurité d'avant la panne,

- être de conception modulaire, pour qu'il soit adaptable à toutes les conditions de service,

- permettre des vitesses de marche allant jusqu'à 200 km/h,

- se prêter à une mise en oeuvre progressive, selon les besoins prévus et les capitaux d'investissement disponibles,

- offrir une fiabilité, une disponibilité et une maintenabilité élevées,

- s'appuyer sur un règlement d'exploitation prévoyant la protection de la circulation en cas de défaillance.

Le LIC existant répond déjà à un grand nombre de ces exigences; pour les autres, il suffira d'élargir les possibilités de ce système. Toutefois, ceci ne se fera pas sans un effort considérable de recherche au niveau des logiciels.

## 9. SCHÉMA CONCEPTUEL D'UN SYSTÈME LIC ADAPTÉ AUX VOIES PRINCIPALES

Partant des définitions formulées au chapitre 8, GLENAYRE a élaboré un schéma conceptuel détaillé du LIC adapté aux voies principales. Ce schéma comporte les grandes lignes suivantes:

### 9.1 Commande de la marche des trains par LIC

- Le LIC fait appel à une régulation par cantons fixes qui l'emporte sur les règles de priorité des trains roulant en sens contraire ou qui se suivent.

- Les limites extrêmes de chaque canton, c'est-à-dire les points fixes de contrôle, sont marquées par des transpondeurs DIGITRAC au nombre de trois aux aiguillages et de deux ailleurs. Le repérage des trains se fait à partir des annonces de transpondeurs franchis et de la lecture de l'odomètre de bord, tandis que le sens de la marche est donné par l'ordre dans lequel les transpondeurs ont été franchis. Quant à la direction prise après un aiguillage, elle est connue du système d'après la paire de transpondeurs franchis.

- Les autorisations de marche sont transmises par liaison radio directement du centre de régulation au train. L'affichage en cabine montre l'autorisation en cours et annonce les deux autorisations suivantes, en plus d'indiquer la vitesse du train, la vitesse de consigne et la distance parcourue.

- La protection des tronçons à voie unique entre voies d'évitement se fait par cantonnement automatique absolu permissif qui bloque toute autorisation pouvant mener à des situations incompatibles.

- La télécommande des aiguillages à manoeuvre électrique se fait grâce au RSCU (Radio Switch Controller Unit) dont le descriptif est donné en annexe du rapport final (1).

- Un affichage graphique en couleur renseigne à tout moment le régulateur sur l'état des cantons, des aiguillages, des postes de contrôle et des trains.

- Le LIC permet le transfert ordonné du contrôle des trains d'un canton de régulation LIC à un autre ou à un centre de CCC.

## 9.2 Protection automatique des trains

- Le LIC surveille les déplacements des trains ainsi que leur vitesse; il lance un avertissement sonore dans la cabine, à une distance de freinage prédéterminée, par rapport à un obstacle fixe ou un signal restrictif quelconque, et lorsque la vitesse de consigne est dépassée. Advenant que l'avertissement reste sans suite, le LIC amorce automatiquement le serrage des freins à distance.

- La vitesse du train ainsi que la vitesse de consigne sont affichées en cabine. La vitesse de consigne applicable à chaque train est déterminée par le processeur en fonction du lieu où se trouve le train. La vitesse réelle du train est renvoyée au processeur par l'automatisme de commande. En cas de nécessité, le régulateur peut ordonner le freinage de secours à distance d'un train particulier.

## 9.3 Régulation automatique du trafic

Elle comprend deux volets: l'automatisation de la marche des trains et le traitement automatique de l'information.

### 9.3.1 Automatisation de la marche des trains

L'ordinateur central prendra en charge la formation des itinéraires, le lancement des autorisations et la mise en position correspondante des aiguillages qu'il établira en fonction des caractéristiques du train (puissance, masse, longueur du convoi, ordre de supériorité) et de la voie (longueur des voies d'évitement, pentes et rampes) de manière à ordonnancer les croisements et les dépassements et à accélérer le service. Il doit assurer la protection intégrale de tout train autorisé à occuper un canton.

### 9.3.2 Traitement automatique de l'information

Il s'agit de confier à l'ordinateur la plupart des tâches routinières assurées jusqu'ici par le régulateur. Le système se fonde sur une automatisation des itinéraires. À la demande du régulateur, ou de tout autre personne autorisée, il accepte ou affiche des instructions concernant la marche des trains. Il rend plus efficace la gestion des ressources humaines et matérielles. Enfin, il permet de produire un large éventail de comptes rendus, d'intérêt immédiat ou futur.

## 10. CONCLUSIONS

### 10.1 Conclusions générales

Le présent rapport récapitule les travaux concernant la possibilité de transposer le système LIC aux voies principales et à celles à trafic élevé. Par rapport au système mis en oeuvre par BC Rail, il faudrait prévoir des fonctions supplémentaires, telles que la protection automatique des trains et la télécommande des aiguillages à manoeuvre électrique. Après un examen des besoins définis, ce rapport arrive à la conclusion qu'il est possible que le LIC puisse assumer ces fonctions, le processeur ayant la capacité de mémoire nécessaire pour se prêter à l'extension envisagée.

Après une étude du réseau visé par cette extension, à savoir les subdivisions Windermere, Cranbrook et Fording River appartenant à CP Rail, le rapport présente la définition des besoins et propose un schéma conceptuel concernant la transposition du LIC aux voies principales. La conclusion générale en est que le LIC se prête à l'extension de son domaine d'utilisation en vue de sa transposition aux voies principales.

### 10.2 Capacité

Le LIC, tel que présentement utilisé par BC Rail, est capable de surveiller jusqu'à 10 trains en simultané. Les facteurs qui déterminent la capacité globale du système sont les suivants:

1) Portée des transmissions radio - au moins 70 p.cent de tous les messages émis vers les trains doivent être reçus par eux sans avoir à être répétés. Obtenir et maintenir ce niveau de service nécessite une étude très soignée des algorithmes pilotant les processus d'interrogation et de sélection des sites hertziens, assumés par le processeur, et aussi la liaison radio poste fixe-poste mobile.

2) Débit - le débit des communications entre le processeur et l'automatisme ELU est actuellement de 300 bits/seconde. Un débit supérieur à celui-ci est réalisable, le processeur s'étant montré capable d'écouler jusqu'à 1 200 bits/seconde. Un débit aussi élevé nécessite, cependant, des canaux de plus grande largeur de bande et, par conséquent, des voies de qualité téléphonique en plus grand nombre. Le moyen de contourner cet impératif serait d'instaurer l'appel sélectif et découler les communications radio par un seul canal, utilisant le multiplexage dans le temps.

3) Capacité - le processeur utilisé s'articule autour d'un micro-ordinateur 8 bits prenant en charge les communications radio et la protection de celles-ci. Or, cette dernière fonction occupe la plus grande partie du temps que le processeur consacre à l'ensemble du traitement des signaux. On conçoit donc que ce processeur puisse devenir le facteur limitatif du processus de transposition et d'extension. Un moyen de remédier à cet état de choses serait de réexaminer certaines tâches pilotées par le programme et de raccorder plusieurs unités de traitement au processeur.

4) Interfaçage - dans le cas du LIC utilisé par BC Rail, le régulateur doit approuver la transmission des instructions adressées aux postes fixes de contrôle. Un répéteur permet au régulateur de réduire le temps de manipulation du clavier, lorsqu'il lance une autorisation vers le dernier train contrôlé, et en l'absence d'une situation de conflit. La procédure en vigueur ainsi que les temps de réponse limitent environ à 10 le nombre de trains qu'un régulateur peut surveiller en simultané.

### 10.3 Mises en oeuvre partielles

Si on ne désire pas utiliser le système LIC au complet, il est possible de s'en tenir aux trois sous-programmes suivants. Ils ont l'avantage de présenter des risques minimaux, étant donné que leur mise en oeuvre ne nécessite pas d'études techniques poussées de perfectionnement par rapport au système actuellement en service. Ces sous-programmes sont:

1) Cantonnement manuel assisté par ordinateur - efficacité et sécurité accrues en cantonnement manuel par la mise à la disposition du régulateur d'un ordinateur central, d'un tableau d'affichage graphique en couleur et de terminaux à écran.

2) Saisie de données en temps réel - communications en temps réel entre le processeur et l'automatisme ELU permettant de surveiller la marche ainsi que de recueillir et d'analyser les données concernant celle-ci. En comparaison, les méthodes utilisées jusqu'ici stockent les données sur rubans ou dans des mémoires à semi-conducteurs et n'en permettent le traitement qu'une fois le déplacement terminé.

3) Automatisation de la commande centralisée de la circulation - en CCC, le repérage des trains se fait au moyen de circuits de voie de type classique. Or, les données obtenues par ces moyens sur la vitesse et

l'emplacement des trains n'ont pas la précision voulue pour permettre l'automatisation des opérations de conduite. Par contre, les données transmises par le LIC ont cette précision (0,1 mille et 0,1 km/h), faisant de ce système l'outil de surveillance idéal en CCC automatisée.

## 11. RECOMMANDATIONS

Voici les recommandations formulées à la suite de l'étude:

1) Ne plus poursuivre les travaux de perfectionnement du LIC sans une participation directe du client intéressé.

2) Rechercher activement des clients intéressés au système existant, ou aux sous-programmes décrits en 10.3.

3) N'envisager l'extension du système existant que si un client s'y intéresse sérieusement et que le plein financement en est assuré.

## RÉFÉRENCES


1. Location, Identification and Control System Application to Mainline Railroads, Rapport final, CDT TP 5032E, R.C. Chillman et R.J. Pomeroy, Glenayre Electronics Ltd., 1983.

2. Location, Identification and Control System Operational Evaluation of Train Tracking and Dispatcher Assist Functions. CDT TP 4451, British Columbia Railway, 1983.

3. LIC on Mainline Railroads: CPR Site-specific Study, Fording to Golden. GL 2025-020, R.C. Chillman, Glenayre Electronics Ltd., 1983.